

光致发光—
photoluminescence (PL)
的基本原理及实验方法

肖志松

北航物理系

概 述

发光是物体内部将以某种方式吸收的能量转化为光辐射的过程，他区别于热辐射，是一种非平衡辐射；又与反射，散射和韧致辐射等不同，其特点是辐射周期较长，即外界激发停止后，发光可以延续较长时间 10^{-11} s以上，而其他 10^{-14} s以下。

物理发光包括光致发光、阴极射线致发光、X射线致发光、放射线致发光、场致发光（电致发光）等。

PL可存在于气态、液态和固态，且在无机、有机以及生命物质中普遍存在。

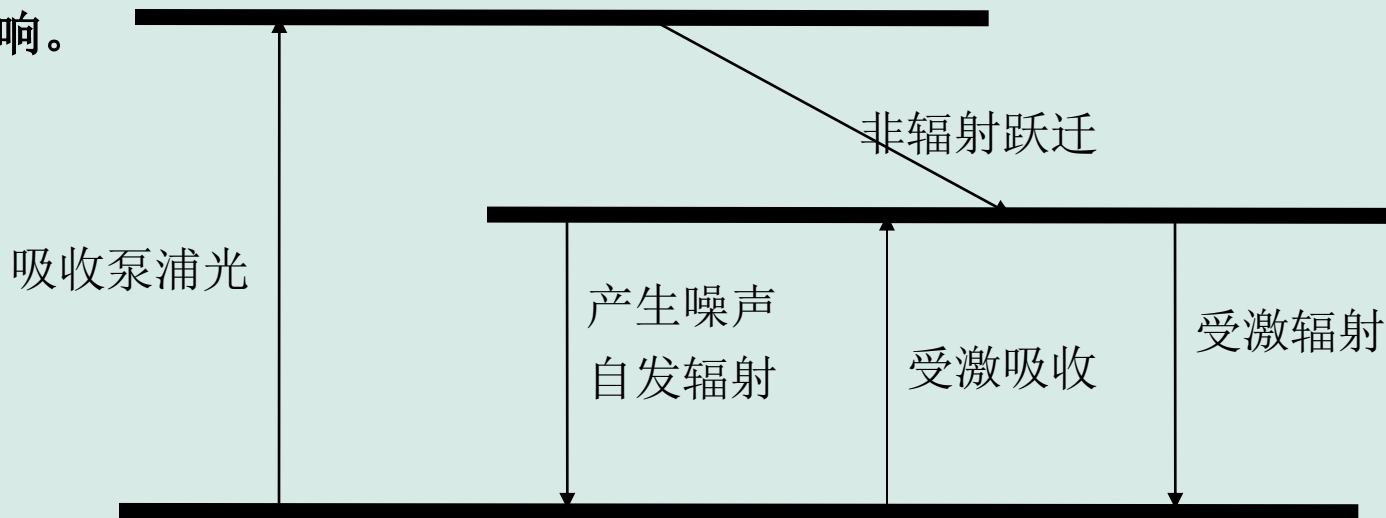
1 基本原理

跃迁过程

电子受到激发后，从能级 E_0 跃迁到 E_2 ，由于从 E_2 到 E_1 能级间相距很近，可通过非辐射性级联过程发射声子，由 E_2 能级降到 E_1 能级。由 E_1 能级降到 E_0 能级则可能通过发射光子的辐射性跃迁来完成，这时就可观测到发光，在这种情况下发射的光子能量为

$$h\nu = E_1 - E_0$$

影响辐射跃迁过程的不仅是该过程的初态和末态的能级位置及其性质，在激发过程中涉及的其它能级以及有关的非辐射过程也常对辐射跃迁过程有不同程度的影响。



- 对于比较纯的晶体材料，光吸收导致电子从价带跃迁到导带，产生了导带中可以自由移动的电子、价带中可自由移动的空穴。
- 但在很多情形中，与发光有关的电子态跟一定的结构缺陷，原子、离子、分子或更复杂的原子基团相联系，因而也称它们为发光中心。在一些实用的发光材料里，发光中心是靠在基质中掺杂杂质形成的。

- 若发光过程从吸收激发能量到发射光子都在一个中心内部进行，则该发光中心称为分立发光中心。分立发光中心和晶格没有紧密的联系，这种中心内的电子即使处于激发态也不离开中心。
如：稀土离子发光。
- 若作为发光中心的离子的外壳层电子受晶体场的作用很强，以致在被激发后可以进入导带（或空穴被激发进入价带），被激发了的载流子重新复合而发光叫做复合发光。
如： β - $FeSi_2$ 发光。
- 分立中心的发光光谱主要决定于发光中心本身的能量结构，复合发光的发光谱主要决定于晶格结构，当然发光中心本身也有一定影响。

跃迁条件

- 1、自旋选择定则，禁止具有不同的自旋状态的能级之间的电子跃迁；
- 2、宇称选择定则，禁止具有同样宇称的能级之间的电子（电偶极）跃迁。

影响发光的因素

- 发光中心本身能级机构；
- 发光中心之间的能量传递；
- 发光中心与基质之间的能量传递（晶格振动）；
- 杂质或缺陷产生的陷阱。

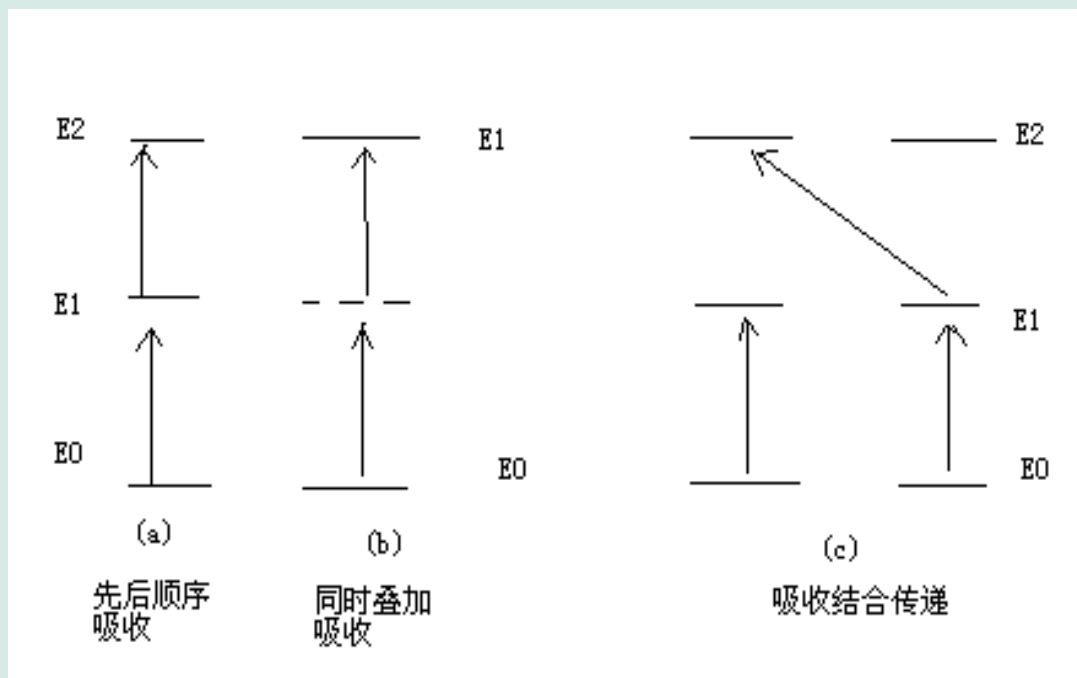
基本原理（续）

- 斯托克斯规则：发光波长总是大于吸收波长。

反斯托克斯现象：

当环境周围的振动能级比较高，而激发发光中心的激发态 所处振动能级比较低，这时发光中心有可能得到一部分振动能而升到比较高的激发态，导致发光波长比激发波长短。激光制冷就是应用这一现象。

- 瓦维洛夫定律：在发光和吸收光谱的重叠区发光效率急剧下降。
- 上转换现象：
 - （a）一个中心先后吸收两个光子，然后发射一个能量大的光子；
 - （b）一个中心同时吸收两个光子，然后发射一个能量大的光子；
 - （c）吸收共振先后结合的顺序过程。

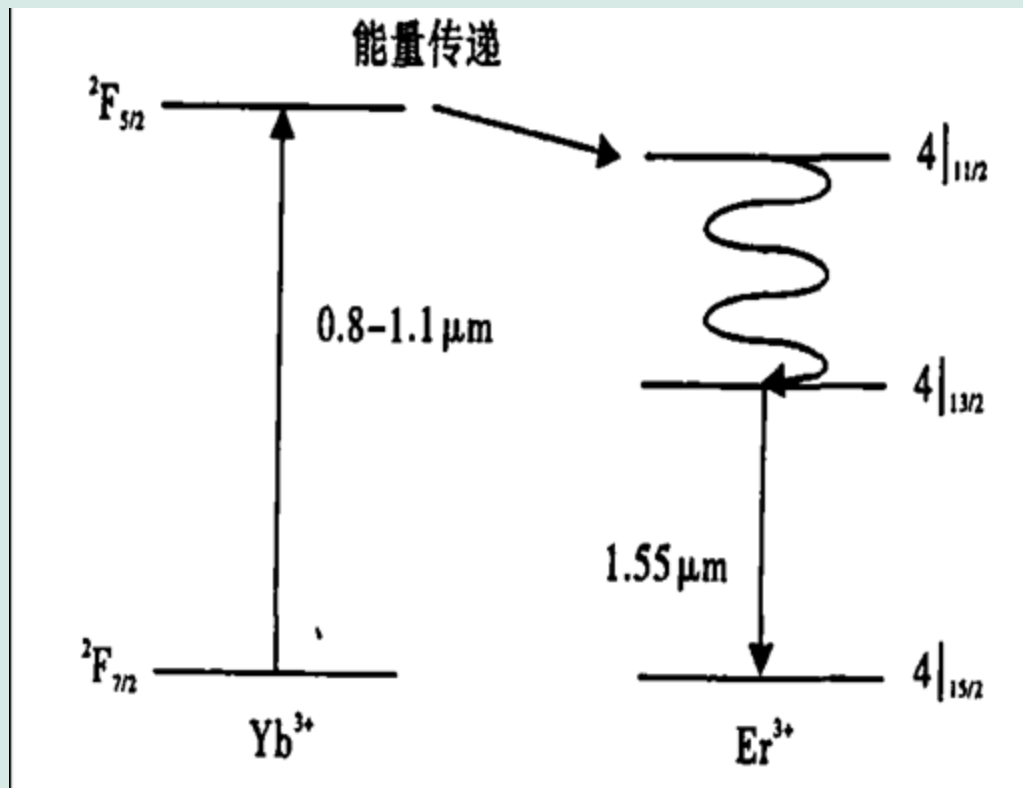


上转换示意图

- 在发光中心常常采用敏化的方法，即使用容易吸收能量的中心及发光性能良好的中心共同掺杂，并使第一类中心把吸收的能量传递给第二类中心，从而提高发光效率。

能量传递的条件：

- 1、两个中心有相近的能级间隔；
- 2、两个中心距离很近。



敏化剂应用示例

附：稀土元素的能级结构

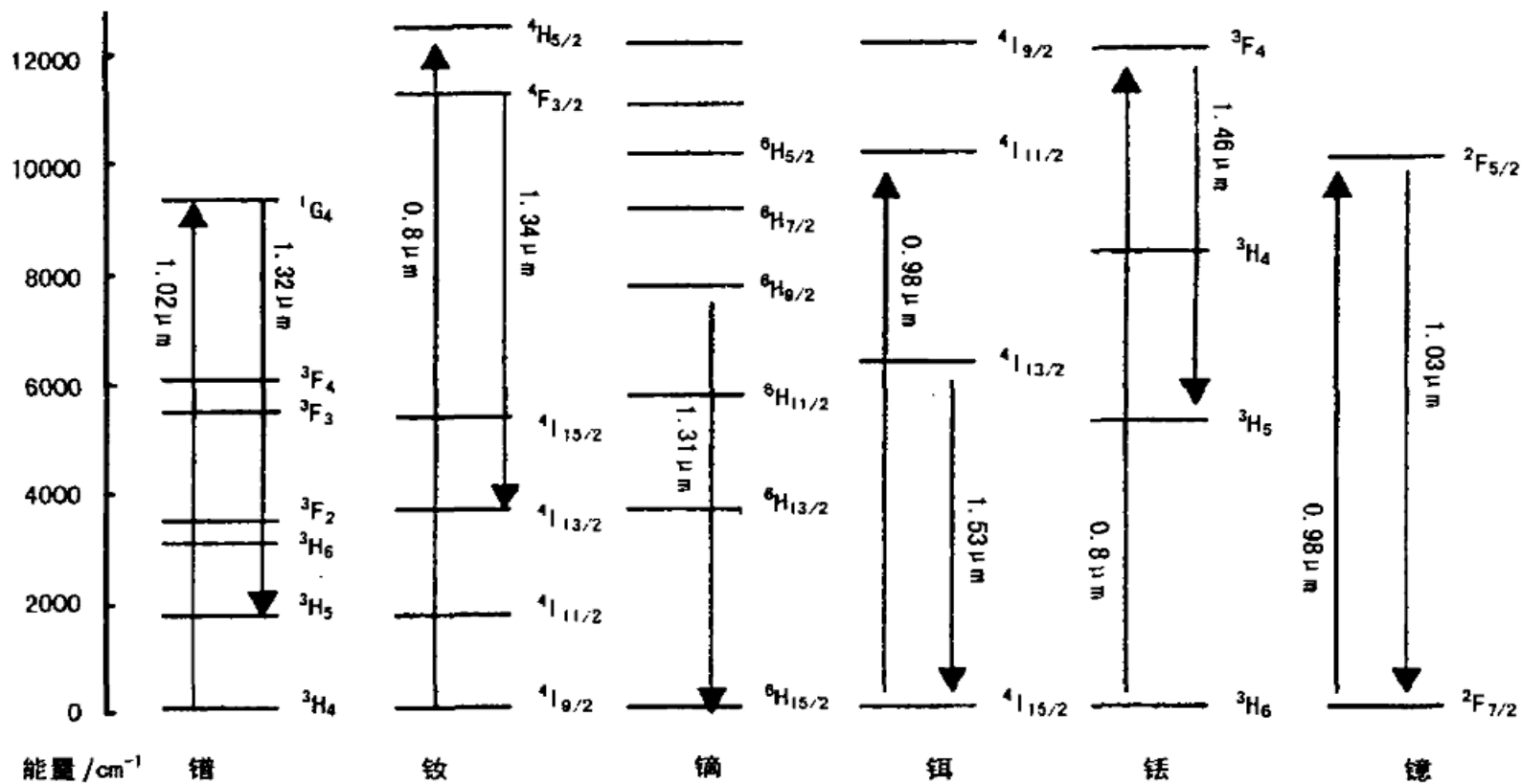


图 Pr³⁺、Nd³⁺、Dy³⁺、Er³⁺、Tm³⁺和 Yb³⁺的能级图

Fig. 3 Energy-level diagram of Pr³⁺, Nd³⁺, Dy³⁺, Er³⁺, Tm³⁺, Yb³⁺

2 发光材料基本测试及分析方法

材料应用领域不同，使得测试和分析时所关注的性能也各有侧重，如长余辉发光材料重点是激发强度和发光寿命，通信用光放大材料关注的是发光谱形态和发光效率。

材料的吸收光谱、激发光谱、发射光谱、发光寿命和加热发光曲线是常用的分析手段，下面一一介绍。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/576100242010010212>